

LES EFFETS DES INFRASONS PRODUITS PAR LES EOLIENNES

Jean-Louis REMOUIT

**version 1.1
juin 2019**

[Le son des éoliennes](#)



SOMMAIRE

| | | |
|------|--|------|
| | Sommaire | p.2 |
| | Introduction | p.3 |
| I | Les éoliennes émettent-elles des infrasons | p.5 |
| II | Mécanismes de création des sons et infrasons | p.7 |
| III | Propagation des infrasons | p.10 |
| IV | Les infrasons ont-ils un impact sur l'homme | p.10 |
| V | Modes d'impact sur l'homme et les animaux | p.11 |
| VI | Un manque de prescription de l'État et des gouvernements | p.17 |
| VII | Des études épidémiologiques indispensables | p.20 |
| VIII | L'équipement des parcs éoliens en sonomètres | p.22 |
| IX | Les déficiences des maîtres d'ouvrages et des experts | p.24 |
| X | L'identification des éoliennes émettrices d'infrasons | p.25 |
| | Conclusions | p.26 |
| | Annexe 1 : Les traceurs chimiques des infrasons | p.27 |
| | Annexe 2 : Les infrasons : hygiène et sécurité | p.29 |

INTRODUCTION

Comme vous le savez, la communauté pro-éolienne et le gouvernement nient la production d'infrasons par les aérogénérateurs des parcs éoliens et par voie de conséquence nient leur influence sur la santé humaine et animale.

Voir : <https://www.ladocumentationfrancaise.fr/var/storage/rapports-publics/084000423.pdf>

Ce n'est pas le cas.

Avant d'entrer dans le détail, je voudrais vous faire quatre observations :

1- la première est que les infrasons peuvent être considérés comme des sons et être traités par les méthodes de l'acoustique classique ou bien être considérés comme des vibrations et être traités par la physique des pressions vibratoires des fluides ou de leurs équivalents. Les premiers, les infrasons, ne sont pas véritablement définis en terme de fréquence mais peuvent être considérés comme ayant un spectre inférieur à 20 hz (la limite de l'audition) selon l'ANSI. Les secondes, les vibrations, peuvent être définies en dessous de 10 hertz. Ces deux phénomènes procèdent du même processus physique, l'ébranlement vibratoire des molécules d'air provoquant des ondes de pression/dépression pour le son et transmission des vibrations par contact pour les vibrations classiques. Les spectres sont identiques, seules les amplitudes et les puissances sont différentes.

2- la seconde est que le ministère de la santé a défini certains effets des vibrations sur la santé humaine, en a préconisé des règlements en médecine du travail et des dispositifs protecteurs à mettre en œuvre sur les machines utilisées. Vous pouvez prendre connaissance de cette question, en première approche, sur le site internet dont voici la référence :

<http://www.ilocis.org/fr/documents/ilo050.htm>

Les vibrations dont il est question ne sont ni plus ni moins que des infrasons lorsqu'il s'agit des oreilles et dont les effets sont traités par la médecine ORL.

3- la troisième est que l'origine de la négation de la mesure des infrasons émis par les aérogénérateurs tient trois raisons :

- la, première, ridicule, consiste, pour les ignorants, à affirmer que les infrasons sont inoffensifs parce qu'ils sont inaudibles et que la FEE (France Energie Eolienne) et les médias répètent à souhait.

- la seconde est que les sonomètres utilisés, construits pour mesurer les sons audibles, donnent leurs résultats en dBA et non en dB. La puissance du son se mesure en pascal/m². Elle est en général transcrite en dB (ou plus précisément en dB RMS) par référence à une valeur de 20 µPascal/m². Les mesures en dBA sont utilisées par les acousticiens pour prendre en compte la sensibilité relative de l'oreille humaine qui est maximum vers 8000 hz et minimum aux extrémités du spectre audible. Cette pondération du dB physique, artificielle et statistique, permet de rendre le dBA équivalent pour une même impression de puissance sonore. Cette mesure des sons en dBA n'a donc STRICTEMENT rien à voir avec une mesure physique réelle.

- la troisième est que cette mesure sonore se fait sur un tiers d'octave en largeur de spectre.

Elle représente donc la puissance sonore MOYENNE (rms) sur toute la largeur de ce tiers d'octave. Cette mesure en tiers d'octave est normale pour les sons naturels ou provenant d'instruments de musique puisque l'oreille lisse les puissances sur ces tiers d'octave. Or, contrairement aux phénomènes naturels qui provoquent des infrasons, le vent, la mer, les volcans, les éclairs, les machines mécaniques en général, et les aérogénérateurs surtout, produisent des infrasons dont la puissance sonore est en dent de scie avec des largeurs spectrales très inférieures au tiers d'octave et des puissances crête pouvant dépasser 10dB, c'est à dire plus de 8 fois la valeur de base. Ces phénomènes sont stables au point que les turbines ont des signatures spectrales qui permettent de les identifier comme pour les bateaux.

4- Les éoliennes ne généreraient pas d'infrasons alors que ces faits sont reconnus pour les machines tournantes en général et les hélicoptères ou avions en particulier.

5- Les infrasons sont maintenant utilisés comme armes de guerre ou de maintien de l'ordre : C'est le cas de la société américaine LRAD <https://www.lradx.com/> ou de Hyperspike <https://www.ultra-hyperspike.com/> . Ces sociétés produisent des hauts parleurs directifs de forte puissance permettant à une autorité de s'adresser aux foules en mode audio mais aussi des versions infrason à usage civil de maintien de l'ordre ou militaire en mode semi-létal.

En français : <http://www.article11.info/?Le-son-comme-arme-1-4-aspects>

Référence : Le son comme arme, les usages policiers et militaires du son, Juliette Volcer, Ed. La découverte, 2011.

Réglementation : Les valeurs d'émergence réglementaires du bruit des éoliennes en général sont 5dBA le jour et de 3dBA la nuit (décret 95-408 du 18 avril 1995).

Entrons dans le vif du sujet :

I LES EOLIENNES EMMETTENT-ELLES DES INFRASONS

La réponse est « non » si on mesure les infrasons en dBA, c'est la mesure des lobbies pro-éoliens. La réponse est « oui » si on la mesure en dB non pondérés. Entre 1000 hz et 10 000 hz il n'y a pratiquement pas de correction des dB vers les dBA. Mais, avec les dBA et à 10 hz, il y a 70 dB de différence entre ce qu'on mesure (en général plus de 100 dB au pied d'une éolienne) et ce qu'on entend.

Enfin, on peut accuser, dans certains cas, les promoteurs de minimiser les mesures d'infrasons en laissant tourner les turbines sans les raccorder au transformateur car en ce cas il n'y a plus de puissance électrique distribuée et la pollution sonore s'en trouve diminuée.

Par ailleurs, les sons audibles masquent, dans l'oreille, la perception des infrasons et leur nocivité, expliquant que les mesures en dBA faussent la corrélation entre les infrasons réels et leur perception.

Source :

https://fr.wikipedia.org/wiki/Pression_acoustique#Niveau_de_pression_acoustique:_dB_SPL

L'ANSES ne reconnaît pas les effets des infrasons.

<https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01590506/document>

Les symptômes allégués concernent : troubles du sommeil, maux de tête, vertiges, acouphènes. Une récente analyse ne confirme cependant pas de lien causal avec l'exposition au bruit, tout au plus fait-elle apparaître un seuil d'acceptabilité pour un fond sonore inférieur à 35dB. Les mesures effectuées sur le terrain montrent par ailleurs que la protection offerte par la limitation des fréquences audibles garantit la protection contre les infrasons.

Ces points sont confirmés par l'ANSES qui ne retient pas l'hypothèse d'une maladie vibro-acoustique spécifique mais identifie un syndrome éolien d'intolérance environnementale à l'origine des nombreuses plaintes de riverains. Quelle qu'en soit la cause, qui reste débattue, le bilan épidémiologique de cette nuisance reste à faire.

Source : ANSES Evaluation des effets sanitaires des basses fréquences sonores et infrasons dus aux parcs éoliens. Mars 2017.

Pour d'autres, les effets sont garantis :

Simon Chapman and Alexis St George, How the factoid of wind turbines causing 'vibroacoustic disease' came to be 'irrefutably demonstrated'.

Source : <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/1753-6405.12066>

Observations au WHO : <https://www.masterresource.org/windpower-health-effects/europe-world-health-organization-wind-effects/>

Site d'observation anglo-saxon sur les parcs éoliens :

<https://www.wind-watch.org/searchnww.php?q=infrasound&seltab=docs>

Site d'observation des syndromes éoliens :

<https://www.windturbinesyndrome.com>

La société Pacifichydro reconnaît que ses aérogénérateurs produisent des infrasons :

<http://www.pacifichydro.com.au/english/our-communities/communities/noise-and-infrasound/>

La distance parcourue par les infrasons dépasse 20 km.

Leur propagation a fait l'objet d'une thèse de l'école centrale de Lyon :

http://acoustique.ec-lyon.fr/publi/haniquecockenpot_thesis.pdf

Le document le plus probant est l'étude canadienne préparée en 2010 pour l'American Wind Energy Association et l'association canadienne de l'énergie éolienne :

<https://archives.bape.gouv.qc.ca/sections/mandats/eole-monteregie/documents/DM15.2.pdf>

II MECANISMES DE CREATION DES SONS ET INFRASONS

source :

S. Oerlemans, P. Sijtsma and B. Mendez-Lopez

Location and quantification of noise sources on a wind turbine

Nationaal Lucht- en Ruimtevaartlaboratorium

National Aerospace Laboratory NLR

<https://core.ac.uk/download/pdf/53034270.pdf>

Journal of Sound and Vibration 299 (2007), Elsevier.

99 % du bruit de l'éolienne y compris les infrasons est émis par la pale descendante et localisé à peu de distance de son extrémité.

A la différence des phénomènes infrasonores naturels, la mer, les orages, les tremblements de terre, et bien sûr le vent, les éoliennes émettent des infrasons dans des bandes de fréquence fixes et dans ces bandes à des fréquences variant avec la vitesse de rotation des pales.

La pression sonore croît avec la puissance 5 de la vitesse de rotation des pales :

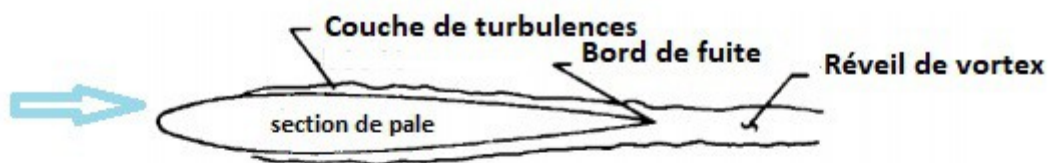
source : bea consulting dans <http://www.kbintelligence.com/fileadmin/pdf/Vibrations.pdf>

IL EST PRUDENT DE NEUTRALISER UNE ZONE DANS UN RAYON EGAL A 7 FOIS LE DIAMETRE DES PALES.

On distingue les mécanismes d'émission et les mécanismes de modulation.

21 Les mécanismes d'émission des éoliennes

211 Mécanismes d'émission des pales en rotation



Sons du bord de fuite



Sons du vortex

Création des infrasons dans les pales en rotation

En haut de la figure, c'est l'écoulement laminaire de l'air qui provoque des infrasons.
En bas de la figure les infrasons sont créés par les turbulences de l'air après le bord de fuite.
La vitesse de l'extrémité des pales peut atteindre 300 km/h.
C'est l'angle d'attaque des pales qui provoque les turbulences. Les tourbillons d'air se détachent à la descente de la pale.

Par ailleurs, l'éolienne, dans une journée chaude et ensoleillée, brasse l'air chaud du bas avec l'air froid du haut et augmente l'effet de cisaillement.

212 Mécanismes d'émission par la pression du vent sur la face au vent des pales

C'est le même phénomène que sur les ailes d'un avion : les pales vibrent et entrent en résonance sur toute leur longueur. Dans certaines conditions de longueur de pale et de pression du vent, les résonances de la pale provoquent des infrasons provenant des « battements » de la structure alors que dans la rotation des pales, c'est l'air qui fabrique les infrasons.
La longueur d'onde d'un son de 1hz est de 343 mètres.

22 Les mécanismes de modulation

Les pales, lors de leur passage devant le poteau, provoquent le fameux « wooh ».

Dès que le vent est un peu élevé, la fréquence du « wooh » peut dépasser 20 hz et servir de base de modulation donc dans l'audible.

23 Les mécanismes d'émission des postes de livraison

Les postes de livraison émettent naturellement des sons et des infrasons !!!
Les amortisseurs statiques et les isolations phoniques permettent de limiter l'émission des sons audibles mais pas celle des infrasons. Les systèmes d'annulation sonore actifs ne sont pas jusqu'à présent efficaces.

- Le transformateur est installé sur des appuis anti-vibratoires, ainsi que tous les appareillages secondaires ;

Régime des autorisations : <https://clients.rte-france.com/htm/fr/mediatheque/telecharge/reftech/CCG-P.pdf>

- Le circuit de refroidissement d'huile possède des raccords antivibratoires et l'ensemble des tuyauteries est isolé des structures du bâtiments ;
- La ventilation elle-même est découplée des châssis supports par des plots élastiques.
- L'air rejeté passe au travers de pièges à sons.



Enfouissement d'un câble à haute tension

III PROPAGATION DES INFRASONS

Thèse de Michaël Bertin, Ecole Normale Supérieure de Cachan, 2015
<https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01124367/document>

Thèse de Gaël HANIQUE-COCKENPOT, Ecole Centrale Lyon, 2011.
https://acoustique.ec-lyon.fr/publi/haniquecockenpot_thesis.pdf

Les infrasons, ou ondes acoustiques infrasonores, se propagent longitudinalement à la vitesse locale du son ($c_0 \approx 340 \text{ m.s}^{-1}$ à 288 K). Elles peuvent se propager sur de grandes distances par réflexions multiples sur les différentes couches de l'atmosphère et au sol.

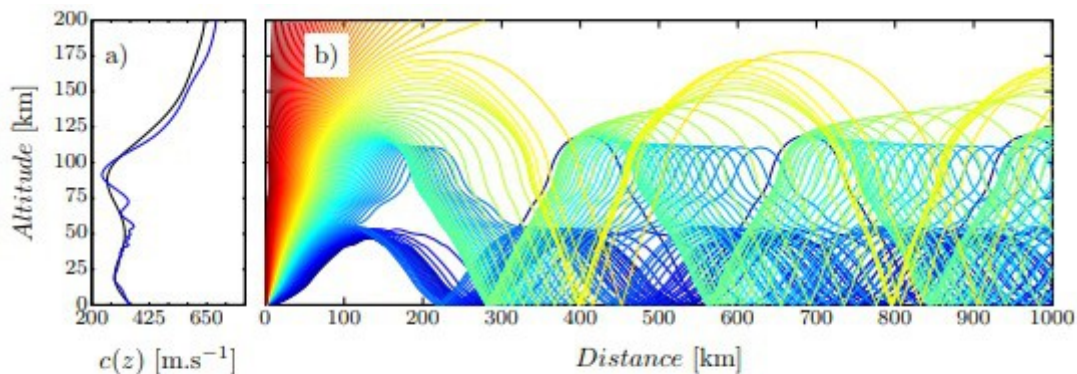


FIGURE 1.3 – Réfraction des infrasons par les gradients de la vitesse du son.
(a) Vitesse du son c_0 et vitesse effective du son $c_{\text{eff}} = c_0 + v$ en fonction de l'altitude
(b) Tracé des rayons de l'acoustique géométrique
(vitesse du son : (—) c_0 , (---) c_{eff} ; rayons colorisés en fonction de l'angle de tir)

Les infrasons se propagent en ligne droite mais se réfléchissent sur les différentes couches de l'atmosphère. Comme le montre la figure ci-dessus, les réflexions atmosphériques se produisent sur les ruptures physiques de densité des couches hautes de l'atmosphère en fonction de l'angle de tir et de la force des vents dont on ne tient pas compte ici. On distingue la couche stratosphérique à 50 km d'altitude, la couche thermosphérique à 100 km et la couche troposphérique entre 125 et 175 km.

Un mode particulier de propagation est celui des ondes « rampantes » où le son est canalisé dans l'épaisseur de la couche d'air particulière qui se trouve au voisinage du sol (densité et température).

Les ondes rampantes sont des ondes qui se propagent à très grande distance en longeant le sol. Leur fréquence est très basse, elles sont donc peu atténuées. Elles pénètrent dans les zones d'ombres. Ces ondes vérifient le principe de Fermat du minimum de temps de propagation. Elles résultent de la diffraction à l'aval de la zone d'incidence au sol des caustiques et sont formées par la réflexion au sol des phases diffractées. Elles peuvent être modélisées par la théorie géométrique de la diffraction [79, 30].

L'atténuation

La divergence géométrique est due à la dispersion géométrique des ondes acoustiques dans l'espace. Elle entraîne une diminution du niveau de pression sonore en $1/r^2$, soit de 6 dB par doublement de la distance r à la source, si celle-ci est ponctuelle.

Absorption & dispersion par la relaxation de la vibration moléculaire de l'air

Les mécanismes liés à la vibration interne des molécules sont plus exotiques et ne concernent que les molécules polyatomiques. Leur prise en compte nécessite une reformulation assez complexe des équations descriptives du mouvement car ces phénomènes sont définis hors équilibre thermodynamique (§2.1.1). L'intensité de la dispersion et de la dissipation par la relaxation évolue en fonction du rapport entre la fréquence acoustique et la fréquence caractéristique de vibration propre à chaque espèce (§2.2.3). Dans le cas de l'atmosphère, seules les molécules de N_2 , de O_2 , de CO_2 et de O_3 sont en concentration suffisante pour jouer un rôle non négligeable [136], leurs fréquences de vibration sont tracées à la figure 1.14 en fonction de l'altitude.

Focalisation des infrasons et zones d'ombre

Les multiples réfractions qui impactent les infrasons atmosphériques sont à l'origine de phénomènes de focalisation des ondes. Les principes de la focalisation acoustique sont similaires à la focalisation de la lumière. Ils sont généralement traités à partir de la théorie de l'acoustique géométrique qui étudie les ondes sonores en termes de rayons le long desquels l'énergie se propage. La focalisation de ces rayons génère deux situations antagonistes, d'une part les caustiques qui sont des points où plusieurs rayons acoustiques se croisent, et d'autre part les zones d'ombres caractérisées par l'absence de rayons.

Réflexion au sol

Les études de l'influence des surfaces de réflexions sont peu nombreuses pour ce qui est des infrasons. Pour des fréquences assez élevées, de l'ordre de 10 Hz, les travaux de Madshus et al. [97] montrent qu'il peut y avoir un couplage entre les ondes acoustiques et des ondes sismiques du fait d'une impédance de sol finie. Ces processus de conversion d'ondes sont rapportés pour le cas du bang sonique par Plotkin [117].

Par ailleurs, la rugosité et, à plus grande échelle, la topographie jouent aussi un rôle [44]. Les études de Chambers [27] soulignent par exemple que la rugosité modifie l'amplitude des ondes rampantes. Néanmoins, pour des ondes non rampantes dont la fréquence est comprise entre 0.1 et 1 Hz, ces effets semblent assez limités et l'hypothèse d'une réflexion totale et spéculaire est usuellement admise.

Le sol lui-même, qui délimite la zone de propagation, absorbe une partie de l'énergie incidente et on modélise cet effet au moyen de son impédance. L'impédance acoustique des matériaux caractérise leur résistance au passage du son (rapport entre la pression acoustique et la vitesse de déplacement des particules dans le milieu) et peut mener à l'absorption d'une quantité non-négligeable d'énergie acoustique (jusqu'à 10 dB).

Les conditions météorologiques

Les gradients de vent et de température, de même que la turbulence, ont un effet prépondérant sur la propagation acoustique dans l'atmosphère.

Les vents longitudinaux accélèrent ou ralentissent la propagation des ondes acoustiques de façon pratiquement arithmétiques. Les vents latéraux les dévient.

Pour ce qui concerne les températures, leurs variations génèrent des gradients d'indice de réfraction de l'air dont l'effet sera de modifier progressivement la relation de dispersion en fonction de l'altitude. Plus précisément, un gradient négatif de célérité effective du son (la vitesse du son plus la vitesse d'écoulement) va courber la direction de propagation vers le haut tandis qu'un gradient positif courbe ces trajectoires pour les dévier vers le sol. Les variations verticales de température et de vent vont ainsi former des guides d'ondes qui piègent l'énergie acoustique.

Identification des ondes rampantes atmosphériques

Les ondes rampantes atmosphériques sont générées dans la continuité des phases principales lorsque ces dernières sont réfléchies au sol. Leur amplitude dépend de l'intensité de la diffraction à l'aval des caustiques et en dernier ressort des conditions de vents. Elles résultent généralement des phases It, mais dans le cas présent et du fait de conditions de vents très particulières, elles sont surtout induites par les phases stratosphériques (§4.4.4).

Vitesse de propagation

200 s pour 500 km.

IV LES INFRASONS ONT-ILS UN IMPACT SUR L'HOMME ?

La réponse est « non » pour ceux qui pensent que rien n'est certain et pour ceux qui, volontairement, tentent de cacher les phénomènes.

Il est vrai que rien n'est certain puisque seule une fraction de la population y est sensible et que pour ceux qui y sont sensibles, cela dépend d'autres facteurs environnementaux. Nous verrons d'ailleurs dans la suite que cette sensibilité s'apparente à la fraction de ceux qui ont le mal de mer alors que nombreux sont ceux qui affirment encore bêtement que l'origine du mal de mer est psychologique. Pour les médecins, ainsi que pour l'académie de médecine dans son rapport et sa séance du 9 mai 2017, la réponse est « oui ».

Nuisances sanitaires des éoliennes terrestres, Patrice TRAN BA HUY, <http://www.academie-medecine.fr/nuisances-sanitaires-des-eoliennes-terrestres/>

<https://archives.bape.gouv.qc.ca/sections/mandats/eole-monteregie/documents/DM15.2.pdf>

Vous voudrez bien remarquer que dans le résumé, les puissances sonores sont figurées en dBA, prouvant le pouvoir de nuisance des lobbies éoliens laissant confondre dB et dBA.

La réponse est « oui » mais, avec une nuance, car comme pour l'hypnose et le mal de mer, seuls certains sujets sont sensibles aux infrasons y compris au sein d'une même famille habitant la même maison. Pour parvenir à un état des lieux véritable, il nous faut un état des lieux qui tienne compte de nombreux facteurs : une étude épidémiologique s'avère indispensable, promue et souhaitée par le Président de la région Hauts de France, M. Xavier Bertrand, qui accepte d'en financer la moitié et pas du tout l'ANSES à qui ce rôle devrait revenir.

Le « syndrome des éoliennes » tel qu'il est formulé par Pierpont (2009, ébauche préalable à la publication) semble reposer sur les deux hypothèses suivantes :

1. Les faibles niveaux d'infrasons présents dans l'air qui proviennent des éoliennes, entre 1 et 2 Hz, ont des impacts directs sur le système vestibulaire.

2. Les faibles niveaux d'infrasons présents dans l'air qui proviennent des éoliennes, entre 4 et 8 Hz, pénètrent dans les poumons par la bouche et font vibrer le diaphragme, lequel transmet les vibrations aux viscères, ou aux organes internes du corps.

L'effet combiné de ces fréquences d'infrasons envoie de l'information qui sème la confusion chez les détecteurs de position et de mouvement du corps, ce qui provoque un éventail de symptômes perturbateurs.

V MODES D'IMPACTS SUR L'HOMME ET LES ANIMAUX

L'impact des infrasons doit être considéré comme provenant soit d'un effet sonore pour les interprétations neurobiologiques, soit provenant d'un effet vibratoire sur les cellules, les tissus et les corps entiers. L'infrason est une arme de guerre déjà développée par certaines nations et par exemple en dotation en Suisse pour un éventuel maintien de l'ordre.

50- L'oreille et les infrasons.

L'oreille humaine perçoit normalement les fréquences sonores de 50 hz à 8 khz
Ces limites varie selon les personnes et les animaux utilisent des fréquences particulières our s'orienter ou communiquer.

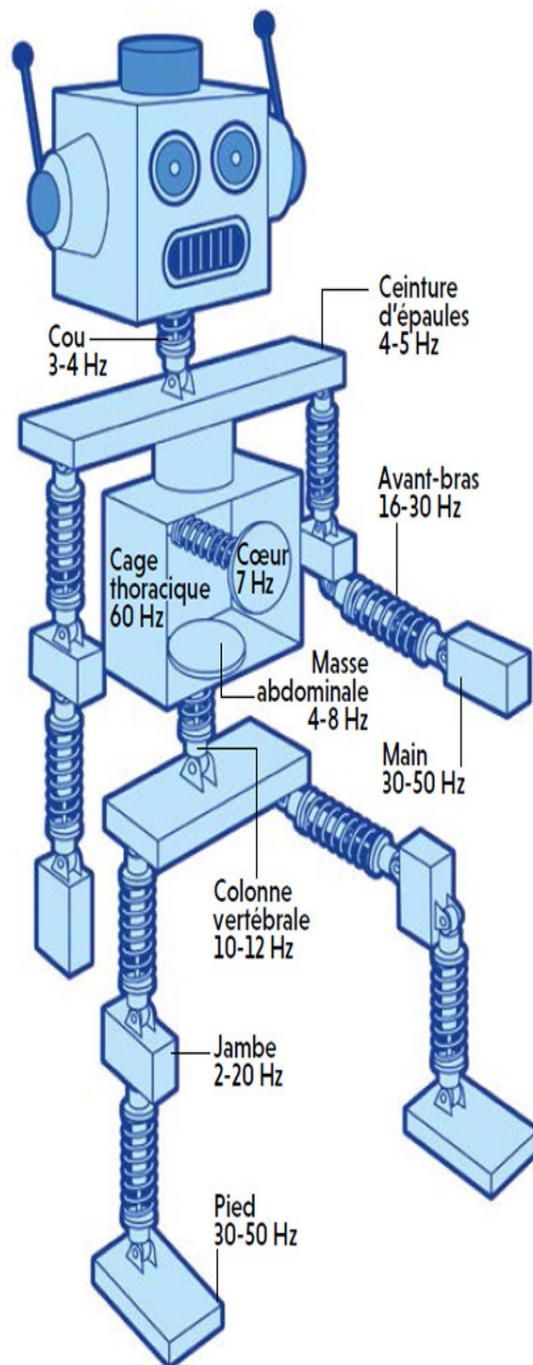
Les infrasons sont définis en dessous de 20 hz. L'homme ne les perçoit pas mais les organes de l'oreille n'y sont pas insensibles.

Les cellules ciliées dites « externes », situées après le tympan, sont composées de 3 rangées « en palissade » Elles servent à l'éducation auditive. Derrière se trouve la cochlée sorte de trompe enroulée sur elle-même qui fait plus ou moins 30 mm de long selon les individus. Les sons aigus sont interprétés à l'entrée de la cochlée et les sons graves au fond.

L'autre système perceptif de l'oreille est constitué des 3 canaux semi-circulaires. Ils fournissent l'orientation et par voie de conséquence, l'équilibre.

Ainsi, les infrasons provoquent des conflits sensoriels (sans être audibles) entre les cellules ciliées et les canaux semi-circulaires.

Quelques fréquences de résonance des parties du corps humain.



51- Les effets neurobiologiques dépendent de l'audibilité.

Dans son effet de base le syndrome éolien n'est ni plus ni moins que le syndrome de Ménière :

https://www.passeportsante.net/fr/Maux/Problemes/Fiche.aspx?doc=maladie_meniere_pm

Des témoignages nombreux :

en Allemagne

<https://www.youtube.com/watch?v=WuI-56rg9d4>

Aux Etats-Unis, Pennsylvanie

<https://www.youtube.com/watch?v=f7DQ3SgSg0c>

En Australie

<https://www.abc.net.au/news/2015-07-17/wind-farms-david-leyonhjelm-fact-check/6553746>

Aux Etats-Unis

Frontiers in Neuroscience | www.frontiersin.org August 2018 | Volume 12 | Article 582

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6119807/pdf/fnins-12-00582.pdf>

Au Canada

<http://www.windconcernsontario.ca/canada-shines-spotlight-on-wind-turbine-noise-at-world-conference/>

52- Les effets physiques s'observent sur les composants des cellules, sur les tissus, sur les organes et sur le corps entier.

C'est le mode vibratoire des infrasons qui est à l'origine de ces effets :

-sur les cellules on observe des modifications épigénétiques, un épaississement des membranes ou une augmentation de la taille des mitochondries.

-sur les tissus on observe une augmentation du cortisol et des catécholamines (voir en annexe).

-sur les organes, on observe des effets vibratoires lorsque l'organe entre en résonance avec la fréquence propre de celui-ci (par exemple 45 hz pour le coeur).

-sur le corps entier, la fréquence propre du corps humain est de 2 hz.

Une interrogation sur le site worldscience.org permet d'obtenir les résultats de quelques auteurs sur ce sujet : <https://worldwidescience.org/topicpages/l/low-frequency+vibrational+modes.html>

Sur ce document, nous disposons sur ce site d'une liste d'effets biologiques dans la colonne de droite:

https://www.unboundmedicine.com/medline/citation/23882868/Myocardial_fibrosis_in_rats_expos

ed to low frequency noise

Les organes impactés sur le rat sont le cœur, le duodénum, les tissus.

Frontiers in Neuroscience | www.frontiersin.org August 2018 | Volume 12 | Article 582
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6119807/pdf/fnins-12-00582.pdf>

Health Effects Related to Wind Turbine Noise Exposure: A Systematic Review
Jesper Hvass Schmidt, Mads Klokke
<https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0114183>

Acoustics Australia
April 2018, Volume 46, Issue 1, pp 31–57 Irene van Kamp, Frits van den Berg
<https://link.springer.com/article/10.1007/s40857-017-0115-6>

53- Effets sur l'homme

-le diabète

Long-term exposure to wind turbine noise at night and risk for diabetes: A nationwide cohort study
<https://www.ft.dk/samling/20171/almdel/SUU/bilag/291/1880931.pdf>

-les maladies cardio-vasculaires

voir : OMS 2011 Cardiopathies ischémiques

-les atteintes pulmonaires : douleurs thoraciques, épaissement des parois des alvéoles pulmonaires, atteintes à la trachée, bronchites.

Source : Respiratory pathology in vibroacoustic disease: 25 years of research
<http://www.journalpulmonology.org/pt/o-aparelho-respiratorio-na-doenca/articulo/S087321591530341X/>

-l'appareil digestif (déjà signalé)

-les infections de la bouche, les indigestions : atteintes aux parois épithéliales.

-les céphalées (déjà signalées)

54- Interaction entre les effets physiques, les effets neurobiologiques et l'électrosensibilité.

Les oreilles communiquent avec plusieurs organes, le nez, la bouche provoquant cette interaction entre les phénomènes infrasonores proches et les phénomènes vibratoires.

L'électrosensibilité, est un facteur amplificateur des effets infrasonores.

55- Effets sur les animaux

Les animaux d'élevage ou sauvages sont tout autant impactés, le contact direct avec la terre constituant une situation défavorable pour les mammifères.

On a pu observer des avortements de l'ensemble d'un élevage de visons,

<https://conseilmondialpourlanature.wordpress.com/2014/06/08/1-600-fausses-couches-pres-des-eoliennes/>

une diminution de du taux d'agnelage en Australie de 80 % à 37 %,

<https://wcfm.org/2015/04/02/wind-farms-deformities/>

des oies en Pologne,

Pol J Vet Sci. 2013;16(4):679-86.

Preliminary studies on the reaction of growing geese (*Anser anser f. domestica*) to the proximity of wind turbines.

Mikolajczak J, Borowski S, Marć-Pieńkowska J, Odrowaz-Sypniewska G, Bernacki Z, Siódmiak J, and Szterk P.

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24597302>

des chèvres à Taiwan,

<https://www.telegraph.co.uk/news/newstoppers/howaboutthat/5364965/Wind-turbines-killed-goats-by-depriving-them-of-sleep.html>

et des déformations du squelette pour des chevaux portugais qui ne sont pas sans rappeler les naissances d'enfants mal formés de l'Ain et de Vendée.

<https://www.repository.utl.pt/bitstream/10400.5/4847/1/Deforma%C3%A7%C3%A3o%20flexural%20adquirida%20da%20articula%C3%A7%C3%A3o%20interfalangica%20distal%20em%20poldros.pdf>

VI UN MANQUE DE PRESCRIPTIONS DE L'ETAT ET DES GOUVERNEMENTS

L'ANSES publie, depuis ses deux saisines de 2008 et 2013, des conclusions négatives sur les effets des infrasons dans les termes suivants :

« L'état des connaissances disponibles ne justifie donc pas d'étendre le périmètre des études d'impact sanitaire du bruit éolien à d'autres problématiques que celles liées à l'audibilité du bruit, pour lesquelles les effets sont avérés, complexes et documentés par ailleurs. »

source : <https://www.anses.fr/fr/content/impacts-sanitaires-du-bruit-g%C3%A9n%C3%A9r%C3%A9-par-les-%C3%A9oliennes>

L'ANSES s'oppose donc à une étude épidémiologique que les français impactés réclament.

Par ailleurs, les instruments de mesure, les sonomètres à correction A étant inadaptés, les mesures déjà réalisées sont donc faussées. Il faudrait utiliser des sonomètres à bande étroite qui puissent donner des valeurs moyennes ET des valeurs crêtes des puissances sonores.

Il en est de même du rapport de l'OFAEnR publié en novembre 2014 et disponible ici :

https://www.lfu.bayern.de/buerger/doc/uw_117_eoliennes_infrasons_sante.pdf

On y conclue que les infrasons n'ont un effet que si on les entend !!!

Enfin, l'AFNOR qui est en charge des normes de mesure utilise les anciennes références de mesure acoustique 31010 et 31015 alors que les gouvernements successifs bloquent la publication de celle destinée compléter la 31114 de 2011, éditée depuis 2014, et réécrite depuis mais non appliquée.

Enfin, un certain nombre d'installations ICPE sont soumises à un contrôle réglementaire permanent des émissions sonores tels les aéroports alors que ce n'est toujours pas obligatoire pour les parcs éoliens.

VII DES ETUDES EPIDEMIOLOGIQUES INDISPENSABLES

De nombreux pays ont procédé à des études épidémiologiques concluant à toute une cascade d'effets sanitaires :

« Environmental noise is emerging as one of the major public health concerns of the twenty-first century. »

source : World Health Organisation. Night noise guidelines for Europe. Copenhagen. 2009.

<http://www.noiseandhealth.org/article.asp?issn=1463-1741;year=2012;volume=14;issue=60;spage=237;epage=243;aulast=Nissenbaum>

Wind turbines and health: An examination of a proposed case definition

Robert J. McCunney, Peter Morfeld, W. David Colby, and Kenneth A. Mundt

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4900481/>

A Review of the Possible Perceptual and Physiological Effects of Windturbines

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6081752/>

Science.gov (United States) <https://www.science.gov/>

1993-07-09 DTIC Science & Technology

Threshold shift as a function of A- weighted sound exposure and years of exposure time. Inasmuch as this standard is based totally upon epidemiological ...small and the amount of annoyance is hardly related to the sound level. Nevertheless, residents around a windturbine site do not appreciate flexible...394018, Voronezh, Plehanovskay ul. 12 ,apt.

Tatsuya Ishitake

L'épidémiologie au Japon (Tatsuya Ishitake)

Journal Nippon Hygiène / Volume 73 (2018) 3 / Bibliographie

Mini numéro spécial sur la production d'énergie éolienne au Japon, Problèmes concernant le cadre de vie et la santé

Effets sur la santé du bruit et du bruit ultra-basse fréquence générés par les installations de production d'énergie éolienne

<https://www.env.go.jp/policy/kenkyu/suishin/kadai/.../5-1307.pdf>

https://www.jstage.jst.go.jp/article/jjh/73/3/73_298/article/-char/ja/

[Wind Turbine Noise and Health Effects].

Abstract

We investigated whether long-term exposure to low-frequency noise generated by wind power facilities is a risk factor for sleep disorders. We performed an epidemiological study of the living environment and health effects of such noise by surveying 9,000 residents (≥20 years of age) living in areas with operational wind power facilities. Sleep disorders were assessed using the Athens Insomnia Scale. To assess environmental noise in residential areas near wind turbines, infrasound and low-frequency sound exposure levels were measured at 50 community centers of a town. The prevalence of sleep disorders was significantly higher among residents who reported subjectively hearing noise (by approximately twofold) than among those who did not. Moreover, the reported prevalence of sleep disorders was significantly higher (by approximately twofold) among residents living at a distance of ≤1,500 m from the nearest wind turbine than among residents living at a distance of ≥2,000 m, suggesting a dose-response relationship. The attitudes of residents towards wind power facilities strongly affected their responses regarding sleep disorder prevalence. It is highly likely that

audible noise generated by wind power facilities is a risk factor for sleep disorders. Obtaining a satisfactory consensus from local residents before installing wind power facilities is important as for more amenable their attitudes towards such facilities.

Références dont les titres ont été francisés :

(1) Organisation pour le développement des nouvelles énergies et technologies industrielles (NEDO). La situation de la production d'énergie éolienne au Japon.

<http://www.nedo.go.jp/library/fuuryoku/state/1-01.html> (2018.2.25)

(2) Farboud A, R Crukhorn, Trinidad A. «Syndrome d'éolienne: fait ou contradiction?», J. Laryngol Otol 2013; 127: 222-226.

(3) Ministère de l'environnement. Soumission de l'avis du ministre de l'Environnement à la préparation de l'étude d'impact sur l'environnement du projet de production d'énergie éolienne d'Ukushima (Information) 2015. <https://www.env.go.jp/press/100207.html> (2018.2.25)

(4) McCunney, R. Mundt, D. Colby, R. Dobie, K. Kaliski, Blais M. L'éolienne et la santé: un examen critique de la littérature scientifique, J Occup Environ Med 2014; 56: e 108 - e 130.

(5) Jeffery RD, CM Krogh, Horner B. Éoliennes industrielles et effets néfastes sur la santé, Can J Rural Med 2014; 19: 21-26.

Nissenbaum

<http://www.noiseandhealth.org/article.asp?issn=1463-1741;year=2012;volume=14;issue=60;spage=237;epage=243;aulast=Nissenbaum>

VIII L'EQUIPEMENT DES PARCS EOLIENS EN SONOMETRES

Références :

Wind Turbine Infra and Low-Frequency Sound: Warning Signs that Were Not Heard

Peer Reviewed Article

ERIC Institute of Education Sciences

James, Richard R.

2012 Bulletin of Science, Technology & Society

DOI: 10.1177/0270467611421845

Keywords: Energy, Power Technology, Acoustics, Health

Industrial wind turbines are frequently thought of as benign. However, the literature is reporting adverse health effects associated with the implementation of industrial-scale wind developments. This article explores the historical evidence about what was known regarding infra and low-frequency sound from wind turbines and other noise sources...

The French Agency for Food, Environmental and Occupational Health and Safety (ANSES) reiterates that wind turbines emit infra-sounds (sound below 20 Hz) and low-frequency sounds. There are also other sources of infra-sound emissions that can be natural (wind in particular) or anthropogenic (heavy-goods vehicles, heat pumps, etc.).

<https://worldwidescience.org/wws/desktop/en/results.html#>

Assessment of the health effects of low-frequency sounds and infra-sounds from wind farms. ANSES Opinion. Collective expertise report.

<https://worldwidescience.org/wws/desktop/en/service/link/track?redirectUrl=https%3A%2F%2Ffinis.iaea.orgsearchsinglerecord.aspx%3FrecordsFor%3DSingleRecord%26RN%3D48064588&collectionCode=IAEA-INISDB-EN&searchId=eb678a73-7d3c-4654-9204-65bfb24df35&type=RESULT&signature=19e83afb2d5fd6f26553cadf5756fd06a2c51e51fe0c543637182cb2adc6b2b0>

Energy and environmental intolerance: electromagnetic hypersensitivity, wind turbine syndrome.

What is the reality? <https://worldwidescience.org/wws/desktop/en/service/link/track?>

[redirectUrl=http%3A%2F%2Fdx.doi.org%2F10.1684%2Fers.2017.0971&collectionCode=IAEA-INISDB-EN&searchId=eb678a73-7d3c-4654-9204-65bfb24df35&type=RESULT&signature=9c331ed7c04ae9f5a0f7ed4857ce4fd82bae3c58eab063f2e60f1c55bae7e098](https://worldwidescience.org/wws/desktop/en/service/link/track?redirectUrl=http%3A%2F%2Fdx.doi.org%2F10.1684%2Fers.2017.0971&collectionCode=IAEA-INISDB-EN&searchId=eb678a73-7d3c-4654-9204-65bfb24df35&type=RESULT&signature=9c331ed7c04ae9f5a0f7ed4857ce4fd82bae3c58eab063f2e60f1c55bae7e098)

Proceedings of the International Congress/Actes du 6eme Congres International (6th) Held in Nice, France on 5-9 July 1993: Noise as a Public Health Problem. Volume 2

<https://worldwidescience.org/wws/desktop/en/service/link/track?redirectUrl=http%3A%2F>

<https://www.dtic.mil/docs/citations/FADA278217&collectionCode=SCIGOV-EN&searchId=1898f4a1-a515-4846-b523-c0c518276415&type=RESULT&signature=4062a1d715626e8d6cd8d3bdf6ee489c00da5970a3f87e349ade6ba7ec531b93>

Noise and Infrasonic Noise at Workplaces in a Wind Farm

https://worldwidescience.org/wws/desktop/en/service/link/track?redirectUrl=https%3A%2F%2Fsl-bf.summon.serialssolutions.com%2F2.0.0%2Flink%2F0%2FeLvHCXMwtV3da9RAEF-0UhCh1C88rbIv7UvImWyy2eShD_XaIoJFuR76FvazHPaSktxRvL--s5tckp4i-iAc4RjCkJvfZPc3s3MzCEVkhPhba4KgiYK9WaSCxVpRTTjhsLclEvi8oMKmJWez6Ox7fPHV9n7elOr0sv8KPMgAevtH2n8Av1MKAvgOLgBXcAK4_pUbXJTzWrdFv6bitRt40wqXLIXeVWV5HNYIuPGcV4shZx02pz2RpRv_NRhHX81X9dr7cq1F72if7MEAV2W97sL98nBCDz9MdMG96YJflbf1Dz5MOYRsK-VwCv5brX7aJo626sWb3oy9tVeOy2GeMmI-UM3mwFo7GQQ7gU8SNz29W3xjMnCyaLCSxs0Qr19WeOqaYfCS-82TBZQc2S7pCzWXy2Nd-LPpQ_SIREImCzyzb5-7jFsAVJC50XLd07VNV0Hn-3sa75OUPvLYu3U1DEpfNb_Sb_jXu6jvTaGwCcN2k_RA108Q7uullfWzxFz8GLAHPeY41a4xD3meF5gji3m2GL-As3Ozy4nH_12PoYvSRpSnxuiQwM7nRRMANPVBrhbIIXElBQkVdQkmY11SIVkGOVhAm9cLBMDvCU0kWbRS7RTIIV-hbAR2rKZTMWKwYdxBnEm11qLLBWKZSN0tDFiftO0Qclt-AiWy8FyubVcbi03Qgcbc-Xta1Dn9qg2SLMgYyMUb5lwcNfv9AHbB094_Wetb9Dj3k0P0M6yWum3aNfU176ozTvnBneCp mk9&collectionCode=WWS-FSLC&searchId=1898f4a1-a515-4846-b523-c0c518276415&type=RESULT&signature=92a33cd48693ded2c8e06b1d3937c268026b66be6c8aedaececc924540324bd3

Comme on peut le voir, des dispositifs épidémiologiques se sont développés en Amérique du nord, au Japon, en Australie mais peu en Europe ou la CEE met peu d'efforts à élucider la question des infrasons en raison de ses positions idéologiques sur l'éolien.

Des quelques cas concrets répertoriés en France tels les parcs de Freycenet Latour ou de Ally en Haute-Loire, il manque l'essentiel des remontées des effets des infrasons faute d'une organisation des services de santé départementaux et d'une absence des capteurs d'infrasons autour des parcs.

IX Les déficiences des maîtres d'ouvrage et des cabinets d'expertises

1- Aussi surprenant que ce soit, rien dans aucune pièce des dossiers ne précise d'information sur la question des infrasons dans les études d'impact: « Ambiance sonore actuelle » de l'Etude d'impact où il est indiqué que les infrasons commencent à 20hz et que les mesures sont stipulées plutôt en dBa en sous-entendant une équivalence des deux mesures.

On rappelle le contexte réglementaire paragraphe 3.2.1.2. « Contexte réglementaire » qui s'appuie sur des normes AFNOR 31010, 31015 et 31114 version 2011. Ces normes arrangent les questions d'acoustique dans les exposés ICPE sans que la nouvelle norme AFNOR 31114 soit réellement utilisée dans sa version de 2014 et non de 2011 qui bien que toujours en vigueur est objectivement obsolète.

Cela constitue une tentative de tromperie d'un lecteur ou d'une autorité non avertie.

2- On voit donc apparaître, tout au long des dossiers, des dBa qui concernent les sons audibles du point de vue de leurs qualités musicales et communicantes, mais rien a voir avec leurs paramètres de santé publique et encore moins avec les infrasons, la différence entre les deux à 10hz étant de 70dB, ce qui est considérable. Aucune mention de ces questions n'est évoquée nulle part dans aucun dossier déposé en particulier partout où on parle de dBa c'est à dire L'étude d'Impacts, L'étude d'Impacts Annexe volume II, et Description de la demande.

Les éoliennes émettent bien des infrasons sans que cela soit jamais évoqué alors que la communauté scientifique, qui bruisse de catastrophes sanitaires sur tous les continents, ne peut ignorer les textes que je viens de citer.

X L'IDENTIFICATION DES SOURCES SONORES

Pour les voisins d'un parc éolien se plaignant des infrasons (ou pour toute personne en ayant les symptômes sans en être voisin), il est intéressant de tenter de trouver l'origine des infrasons incommodants.

Il n'est pas question de procéder comme pour les signatures sonores des bateaux comme le font les sous-mariniens car les signaux sonores des aérogénérateurs viennent des pales et non des turbines.

La solution reste néanmoins simple qui consiste à lire l'analyse spectrale de l'infrason incommodant et à le comparer aux infrasons émis par le parc éolien contrôlé.

Il faut donc disposer simultanément de deux sonomètres, l'un sur le site du parc éolien suspecté et l'autre sur le site du plaignant. On a pu comprendre dans les chapitres précédents que l'infrason incriminé pouvait venir de n'importe quelle direction et de n'importe quelle distance jusqu'à 20 à 50 km selon que le vent porte favorablement.

En effet, la signature spectrale du parc éolien contrôlé correspond à des multiples ou sous-multiples de la vitesse de rotation des pales. Pour un parc de plusieurs éoliennes, on disposera donc d'un ensemble de raies d'émission à un moment donné qui correspondront à l'ensemble des raies spectrales relevées sur le site du plaignant, au décalage du temps de propagation du train d'onde près. Comme le vent local ne sera jamais le même pour chaque parc émetteur suspecté, on est certain de pouvoir les discriminer et de repérer, avec le temps, le ou les auteurs de trouble.

Cette situation rappelle l'intérêt que certains juristes prônent de mettre les parcs éoliens sur le même pied que les aéroports et de les doter de sonomètres permanents.

En conclusion :

Pour protéger les activités de l'industrie éolienne, l'Etat et les gouvernements successifs se sont attaché à nier les effets des infrasons des aérogénérateurs au point de ne pas donner suite à des demandes d'études épidémiologiques sérieuses et non partisans telles celles de l'Académie de Médecine chaque année ou de l'ANSES dans sa co-saisine du ministre de l'écologie et de la santé du 30 mars 2017, de retarder la sortie de la norme AFNOR 31114 dans sa version 2014 sur les mesures d'infrasons.

La réalité des effets multiples des éoliennes sur la santé humaine, le bétail et la faune sauvage par au moins les émissions d'infrasons est largement démontrée dans la communauté scientifique internationale. Elle constitue objectivement les préliminaires d'un futur scandale sanitaire équivalent à celui du sang contaminé ou de l'amiante. Vous ne pourrez plus dire que vous ne saviez pas.

Les associations peuvent donc faire quatre choses :

- 1- De faire promouvoir auprès de vos autorités de tutelle, l'accélération des procédures AFNOR évoquées.
- 2- D'exiger des autorités concernées d'adopter pour les parcs éoliens le même dispositif de contrôle sonore appliqué pour les aéroports y compris et surtout pour les infrasons.
- 3- De faire promouvoir la mise en place généralisée des études épidémiologiques des phénomènes de santé publique tant humains que d'élevage.
- 4- Demander donc d'appliquer le principe de précaution au sens de l'article R1334-31 du Code de la Santé Publique, de l'article L110-1 du code de l'environnement, et, tant en droit et qu'en leur âme et conscience.

Les particuliers, de leur côté, peuvent prendre leurs précautions :

Dans le cas de soupçon d'infrasons présents, les citoyens doivent se faire faire des prises de sang afin d'analyser leur teneur sanguine en cortisol, molécule pouvant confirmer l'effet des infrasons sur leur santé ainsi que les catécholamines (voir en annexe).

Les catécholamines sont un indicateur de la présence de tumeurs.

Dans le cas de menace d'infrasons par des éoliennes avant leur installation, ils peuvent prendre date en mesurant leur cortisol de manière à préparer, ex ante, une future action en justice.

Le cortisol s'analyse dans le plasma sanguin et les catécholamines dans le sang pour les mesures instantanées ou dans les urines pour les hormones émises et stockées pendant 24 heures.

Source : http://docnum.univ-lorraine.fr/public/BUPHA_MAUDIO_2014_BISMUTH_DAVID.pdf

ANNEXES I

Traçeurs chimiques des infrasons

Les catécholamines

La famille des catécholamines comprend la dopamine, l'adrénaline (épinéphrine) et la noradrénaline (norépinéphrine).

Elles forment un groupe d'hormones similaires produites par la zone médullaire (portion centrale) des glandes surrénales. Les glandes surrénales sont de petits organes triangulaires situés au-dessus de chaque rein. Ces hormones sont libérées dans la circulation sanguine en réponse à un stress physique ou émotionnel.

En temps normal, les catécholamines et leurs métabolites sont présents dans le corps en petites quantités variables, qui n'augmentent de façon importante que pendant une période de stress, et restent ensuite brièvement augmentées. Les phéochromocytomes, les neuroblastomes et les autres tumeurs neuro-endocrines, en revanche, peuvent produire de grandes quantités de catécholamines, ce qui a pour conséquence des concentrations d'hormones et métabolites largement augmentées, à la fois dans le sang et dans les urines. Ceci peut être à l'origine d'une hypertension artérielle persistante, et/ou de crises d'hypertension majeure (pression artérielle très élevée), s'exprimant par des maux de tête sévères, des palpitations, des sueurs, une sensation de malaise et d'anxiété, des picotements dans les doigts et les orteils.

Environ 90 % des phéochromocytomes sont situés dans les glandes surrénales. Bien que certains soient cancéreux, la plupart sont bénins, c'est-à-dire qu'ils ne s'étendent pas au-delà de leur localisation première, bien que la plupart continuent de croître. Sans traitement, les symptômes peuvent empirer avec la croissance de la tumeur, et, après quelque temps, l'hypertension artérielle causée par le phéochromocytome peut endommager les organes tels le rein et le cœur, et augmenter le risque d'accident vasculaire cérébral ou de crise cardiaque. Les examens sanguins et urinaires de catécholamines peuvent être utilisés pour détecter les phéochromocytomes. Il est important de diagnostiquer et de traiter ces tumeurs rares car elles représentent une forme potentiellement guérissable d'hypertension artérielle. Dans la plupart des cas, la tumeur peut être enlevée chirurgicalement et/ou traitée pour réduire la quantité de catécholamines produites, réduisant ou faisant disparaître les symptômes et les complications. L'examen des catécholamines mesure la quantité d'adrénaline, de noradrénaline, et de dopamine dans le plasma ou l'urine. Les métabolites de ces hormones peuvent également être examinés séparément : métanéphrines urinaires ou plasmatiques, et/ou examen urinaire d'HMMA.

Les hormones ainsi que leurs produits de dégradation (métabolites) sont éliminés dans les urines.

L'examen des catécholamines plasmatiques mesure la quantité d'hormones présentes au moment du prélèvement, alors que l'examen urinaire mesure la quantité excrétée sur 24 heures.

Le cortisol

Le cortisol est un indicateur de stress. On le trouve dans les urines mais aussi dans les cheveux et donc sur longue durée.

Ainsi le stress provoqué par le bruit permanent ou bien la crainte du bruit permanent (effet nocebo) provoque à son tour une montée du taux de cortisol dans le sang. Cette substance pas vraiment dangereuse en soi est à l'origine, en cas de taux permanents, des dégradations génomiques que l'on retrouve ensuite dans l'apparition de tumeurs ou de cancers ainsi que dans des transformations épigénétiques.

Le stress est géré par le gène NR3C1. Il est altéré en cas de mauvais traitements dans l'enfance ou en cas d'accidents de la vie.

Cortisol et tumeurs cancéreuses

Les carcinomes épithéliaux sont des cancers qui touchent les parois épithéliales des organismes.

Cortisol et épigénétique

Rappel : l'épigénétique est une branche de la génétique qui traite de la régulation de l'activité des gènes sans modifier l'ADN lui-même. Ainsi l'épigénétique traite de la variabilité des caractères au sein d'une même famille cherchant à expliquer les variations des ressemblances au sein d'une même fratrie ou le long d'une même lignée. Ainsi, la présence des yeux bleus chez l'homme est purement héritée de l'ADN, tandis que l'aptitude à certaines capacités est purement épigénétique. C'est ainsi le cas, comme pour le mal de mer, des symptômes éoliens, acquis ou provoqués.

Source : Mathias Germain, Inverser les effets du stress, La Recherche, juin 2019 p. 43

Le cortisol provoque à la longue la déméthylation certaines cellules sanguines comme les lymphocytes. On observe alors une dégradation de la partie de l'ADN appelée zone épigénétique. Le stress accélère « l'horloge épigénétique ».

Source : Edith Heard, Nous établissons les bases moléculaires de l'épigénétique, La Recherche, juin 2019, p.34.

La séquence d'ADN s'enroule par fragments autour de protéines particulières les histones qui forment alors la chromatine. Ce sont sur ces groupes d'histones que se fixent les marqueurs méthyles ou acétyles.

Les séquences d'ADN qui se transcrivent sont celles qui ne sont pas enroulées. Lors de la reproduction, les marqueurs s'effacent par méthylation. L'information épigénétique héritée des gamètes n'est pas conservée sauf quelques séquences propres à chaque individu.

La déméthylation forcée des histones provoque donc, dans certaines conditions, ici le stress, des dérèglements fonctionnels dans certaines cellules.

ANNEXE II

LES INFRASONS: HYGIENE ET SECURITE

INRS - Hygiène et sécurité du travail -

Cahiers de notes documentaires - 2e trimestre 2006 - 203 / 68

GÉNÉRATION

Les sources infrasonores sont nombreuses, qu'elles soient naturelles ou artificielles.

Les sources naturelles sont les mouvements violents de l'air (vents, tempêtes, jusqu'à 135 dB à 100 km/h), les fluctuations rapides de la pression atmosphérique (< 1 Hz à 100 dB), les mouvements de l'eau (vagues océaniques, < 1 Hz) et les vibrations du sol provoquées par des éruptions volcaniques ou des tremblements de terre, qui comportent des composantes basse fréquence à leur tour ré-émises dans l'air.

De même, les sources émettant sur une large bande de fréquence (tonnerre, chutes d'eau) peuvent émettre des composantes de haute énergie se situant dans la partie infrasonore du spectre.

Tous les moyens de transport (automobiles, camions, hélicoptères, avions, bateaux, trains) sont des sources de bruit comportant souvent des composantes vibratoires basse-fréquence et infrasonores [8]. Les passagers d'une automobile ou d'un train peuvent être soumis à des niveaux de 120 dB entre les fréquences 1 Hz et 20 Hz et les niveaux peuvent atteindre de 115 à 150 dB, pour la même gamme de fréquence, dans une cabine d'hélicoptère.

En milieu industriel, ce sont principalement les machines tournantes lourdes qui sont connues pour leur émission infrasonore [9]. Les ventilateurs, pompes, compresseurs, machines à sécher, machines à air conditionné, broyeurs, centrifugeuses à béton, etc. produisent couramment des niveaux élevés d'infrasons.

Le développement des éoliennes comme source d'énergie électrique renouvelable a amené récemment des polémiques sur leur potentialité à produire des infrasons dangereux pour la santé.

Les rares données provenant de mesurage [10] montrent que les niveaux émis sont de l'ordre de ceux des sources naturelles (vent).

Les sources impulsives (explosions, chocs) peuvent aussi émettre des composantes de haute énergie se situant dans la partie infrasonore du spectre. De plus, certaines sources cohérentes émettant deux fréquences pures non-infrasonores assez proches peuvent provoquer l'apparition d'infrasons par des battements à la fréquence différence (différence entre les deux fréquences de départ) en raison des non-linéarités du milieu.

On peut citer aussi des sources d'infrasons moins répandues comme celles servant à des applications thérapeutiques (massages) ou militaires (armes non létales [11]). Les niveaux de ces dernières sources ne sont pas publiés.

PROPAGATION

Comme les bruits audibles, les infrasons sont des ondes sonores se propageant dans un milieu élastique fluide (air) ou dans les solides (sol, structures). Leur gamme de fréquence très basse fait que l'absorption par les milieux traversés est relativement faible.

Par exemple, dans l'air, l'énergie d'une onde infrasonore de fréquence 10 Hz diminue seulement de l'ordre de 0,1 dB par kilomètre, à comparer avec une absorption de l'ordre de 10 dB par kilomètre pour un son de fréquence audible à 1 kHz.

L'atténuation due à la propagation en ondes sphériques (- 6 dB par doublement de la distance) s'applique aussi aux infrasons et représente souvent le seul terme significatif de diminution de l'énergie des ondes infrasonores avec la distance.

La localisation des sources infrasonores est rendue difficile par la faible absorption : les sources peuvent être très éloignées du lieu où la nuisance est mesurée (plusieurs centaines de mètres). De plus, la gamme de fréquence implique de grandes longueurs d'onde, de l'ordre de 34 m, par exemple, à 10 Hz.

La directivité d'une source étant liée à sa grandeur mesurée en longueur d'onde, beaucoup de sources industrielles sont petites devant la longueur d'onde. Elles émettent alors des infrasons dans toutes les directions de l'espace avec une énergie à peu près équivalente : les sources infrasonores sont généralement omnidirectionnelles.

Ces caractéristiques font qu'il sera souvent illusoire de vouloir se protéger des infrasons par des procédés classiques d'isolement et d'absorption acoustique. Une réduction du niveau d'émission à la source sera souvent la seule solution possible pour diminuer les niveaux d'exposition.

PERCEPTION

Seuil d'audition en basse fréquence

De nombreuses expérimentations récentes ou plus anciennes font état de la sensibilité de l'oreille à des fréquences inférieures à 20 Hz [12]. Cette sensibilité existe pour tous les sujets en bonne santé, même si elle est très inférieure à celle connue aux fréquences moyennes du spectre qualifié d'audible.

Cette constatation remet même en cause le concept usuel d'infrasons puisque des sons puissants de fréquence inférieure à 20 Hz ne sont pas inaudibles.

La Figure 1, adaptée de Møller [12], montre :

-1 au-dessus de 20 Hz, les seuils d'audition décrits par la norme ISO 226 : 2003 [13].

-2 dans la gamme de fréquence [1 Hz – 20 Hz], la moyenne de relevés de seuils d'audition pour des sujets variant en âge et en sexe, selon différents auteurs.

Les écarts-types relevés lors de ces expérimentations sont de l'ordre de 3 à 8 dB, alors que le seuil d'audition des sujets les plus sensibles se trouve à plus de 10 dB en dessous de la moyenne,

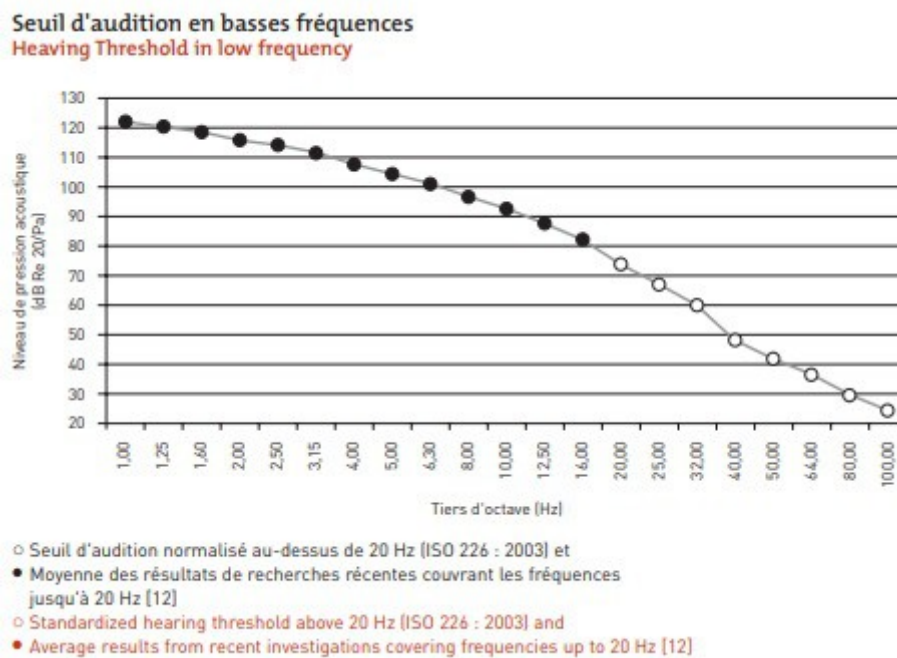
Les deux parties de la courbe, de part et d'autre de 20 Hz, montrent une variation continue des seuils.

Accroissement de la sensibilité

Écoute binaurale : pour les infrasons, il a été montré qu'une écoute binaurale augmentait la sensibilité de 3 dB par rapport à une écoute monaurale, comme pour les fréquences classiquement qualifiées d'audibles [12].

Augmentation de la sensation sonore : les courbes isotoniques données par la norme ISO 226 : 2003 [13] montrent qu'en basse fréquence, la sensation sonore augmente plus vite quand le niveau de pression acoustique s'accroît, comparativement à ce qui se passe aux fréquences audibles. Par exemple, une augmentation du niveau de pression de 20 dB(Lin) provoque une augmentation de la sensation d'environ 40 phonses à 20 Hz, contre 20 phonses à 1 kHz (par définition).

Figure 1



Perception vibrotactile

Une étude conduite avec des sujets sourds [14] a montré que la perception pouvait exister pour des niveaux suffisamment élevés par d'autres moyens que celui de l'audition. Cette étude a précisé que cette perception qualifiée de « vibrotactile » apparaît pour des niveaux de l'ordre de 124 dB à 4 Hz (contre 107 dB pour l'audition) ou 116 dB à 16 Hz (contre 82 dB pour l'audition).

Une perception vibrotactile peut amener des confusions de sensation.

Les personnes exposées aux infrasons peuvent se croire exposées à des vibrations issues d'une seule transmission solidienne. Il est donc important d'être capable d'identifier les couplages entre la nuisance physique ressentie et la source afin de différencier les problèmes purement vibratoires des problèmes d'ondes élastiques dans l'air (infrasons).

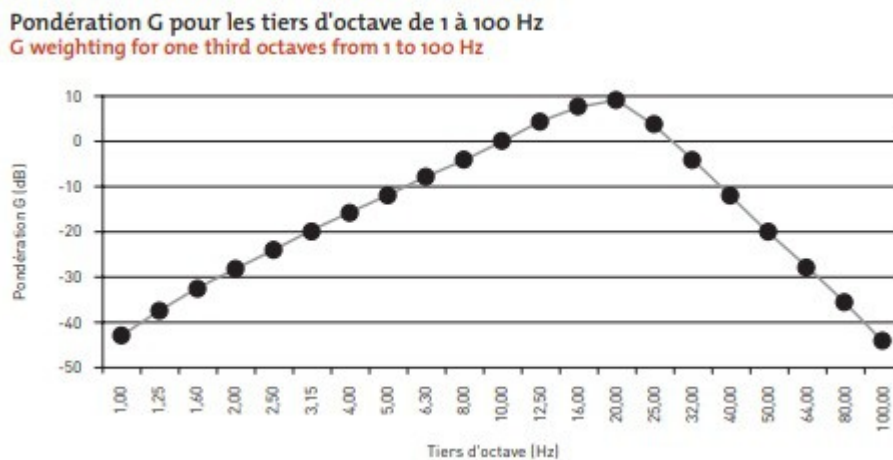
INADÉQUATION DE LA PONDÉRATION A– PONDÉRATION G

Il est courant d'utiliser la pondération A, adaptée à la réponse de l'oreille, pour estimer l'exposition sonore aux bruits audibles. Les sonomètres de classe 1 qui utilisent la pondération A ont des tolérances de mesures définies dans une bande de fréquence comprise entre 16 Hz et 16 kHz [15]. Pour les sons basse fréquence et les infrasons, certains auteurs ont montré que l'utilisation de la pondération A pour estimer la nuisance de composantes basse fréquence conduit à les sous-estimer [16, 17].

D'autres auteurs mettent en évidence que les niveaux de gêne sont plus proches des seuils d'audition en basse qu'en haute fréquence [18].

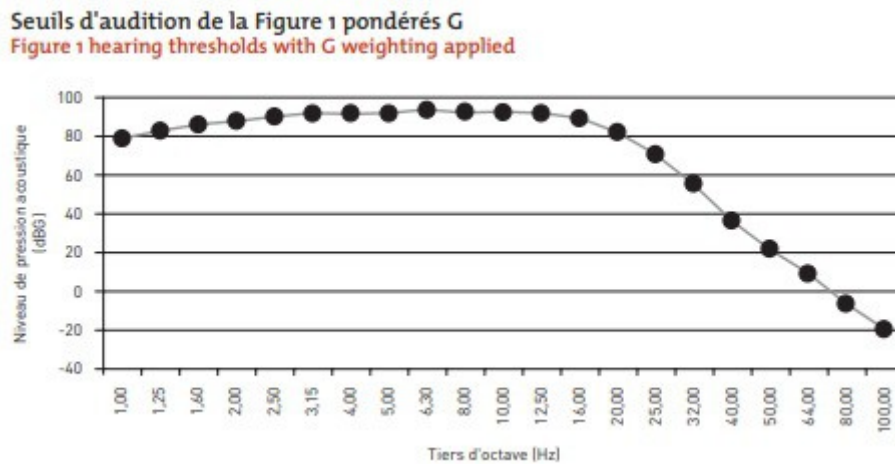
Le normalisateur a tenu compte de ces difficultés et a défini une pondération fréquentielle spécifique pour le mesurage des infrasons, la pondération dite G [4].

Figure 2



La Figure 2 montre l'allure de cette pondération pour les tiers d'octave de 1 Hz à 100 Hz. L'utilisation de cette pondération sur les seuils d'audition montrés sur la Figure 1 conduit à la courbe de la Figure 3.

Figure 3



Dans le domaine des fréquences comprises entre 1 Hz et 100 Hz, l'usage de cette pondération sur les seuils d'audition tirés de Møller [12] conduit à un niveau (intégré sur la bande de fréquence) de perception auditive de l'ordre de 102 dB(G).

Si on réduit l'intervalle d'intégration aux fréquences comprises entre 1 Hz et 20 Hz, ce résultat reste identique car les valeurs des coefficients de la pondération G décroissent très rapidement de 20 Hz à 100 Hz. La norme ISO 7196 : 1995 [4] confirme ce résultat en affirmant que, dans le domaine des fréquences comprises entre 1 Hz et 20 Hz, des sons tout juste perceptibles par un auditeur moyen, donneront, après pondération, des niveaux de pression acoustique proches de 100 dB(G).

EFFETS PHYSIOLOGIQUES

Les effets physiologiques des infrasons, comme ceux de tous les bruits, dépendent du niveau reçu. À faible niveau, autour du seuil d'audition, des réactions de fatigue, de dépression, de stress, d'irritation, d'asthénie, de mal de tête, de troubles de la vigilance ou de l'équilibre et des nausées (« mal de mer ») ont été décrits [14, 19, 20].

Ces réactions peuvent être dues à la mise en vibration de certains organes digestifs, cardiovasculaires, respiratoires ou des globes oculaires [21].

Au seuil d'audition, des expériences faites sur des sujets sourds et entendant ont montré que des changements de l'état de vigilance des sujets étaient bien dus à une stimulation cochléaire [22].

À des niveaux plus élevés, les symptômes précédents s'amplifient et peuvent devenir insupportables si les durées d'exposition sont trop importantes.

La rémanence des symptômes a été notée, alors que la source est supprimée, les sensations de malaise peuvent perdurer quelque temps. Cette constatation est expliquée par les expériences au cours desquelles la pression artérielle ou le rythme cardiaque des sujets ont été modifiés.

La sensibilité de chaque individu étant très variable, les sensations de gêne ou de désagrément peuvent apparaître, pour certains individus très sensibles, à des niveaux inférieurs aux seuils

d'audition.

Certains auteurs notent un effet possible de masquage [14, 23]. Les symptômes dus à des infrasons de faible niveau sont atténués dès que le sujet est baigné dans un bruit audible de plus fort niveau. Pour finir, l'hypothèse d'une sensibilisation aux infrasons a été émise par certains, mais elle est contestée [19].

LIMITES D'EXPOSITION

Recommandations dans différents pays étrangers

En l'absence de réglementation nationale ou européenne sur les limites d'exposition aux infrasons, plusieurs références donnent des indications sur les niveaux considérés comme étant pénibles ou dangereux [24, 25].

L'American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH)

recommande, à l'exception des bruits impulsifs de durée inférieure à 2 s, que le niveau dans chaque tiers d'octave pour les fréquences de 1 à 80 Hz ne dépasse pas 145 dB(Lin), et que le niveau total ne dépasse pas 150 dB(Lin). Aucune indication de durée d'exposition n'est précisée.

Le New Zealand Occupational Safety and Health Service (NZOSHS)

préconise que le niveau de pression infrasonore soit inférieur à 120 dB(Lin), niveau global intégré dans la bande de fréquence de 1 à 16 Hz, pour 24 heures d'exposition.

Le Danish Environmental Protection Agency (DEPA) [26]

recommande, pour les infrasons environnementaux, que les niveaux d'exposition des citoyens soient inférieurs de 10 dB au seuil d'audibilité des infrasons. Dans cette publication, le seuil d'audition est réputé être égal, pour les sujets les plus sensibles, à environ 95 dB(G).

Le DEPA recommande donc de ne pas dépasser une limite de 85 dB(G), niveau moyen pondéré G intégré jusqu'à 20 Hz.

Le « Eidgenössische Koordinationskommission für Arbeitssicherheit » (EKAS - Suisse) [27]

Au stade actuel des connaissances acquises, il n'y a pas de risque à redouter des infrasons tant que leur niveau acoustique pondéré¹, calculé sur une journée de travail de 8 h, ne dépasse pas 135 dB et lorsque la valeur maximale se situe en dessous de 150 dB. Des perturbations du bien-être peuvent se manifester lorsque le niveau moyen dépasse 120 dB.

La norme ISO 7196:1995 [4]

affirme que, dans le domaine des fréquences comprises entre 1 Hz et 20 Hz, des sons tout juste perceptibles par un auditeur moyen donnent des niveaux de pression acoustique proches de 100 dB(G). Elle ajoute que les niveaux inférieurs à 90 dB(G) ne sont généralement pas significatifs du point de vue de la perception par l'homme.

L'INRS en 1992 [28]

utilise une publication de Pimonow [29] pour classer les niveaux des bruits de fréquence inférieure à 20 Hz dans quatre zones différentes. Si L_p est le niveau de bruit intégré sans pondération pour

1 En l'absence d'autre indication et vu les niveaux indiqués, il faut sans doute comprendre « pondéré A ».

les bandes de fréquence inférieure à 20 Hz, les quatre zones sont les suivantes :

- $L_p \leq 120$ dB(Lin) : niveau pour lequel une exposition de quelques dizaines de minutes ne conduirait généralement pas à des effets nuisibles. On admet que l'on ne connaît ni les actions psychologiques de tels niveaux, ni les conséquences à des expositions prolongées ;

- 120 dB(Lin) $< L_p \leq 140$ dB(Lin) :

niveau pour lequel l'apparition de troubles psychologiques passagers est appréciable mais la fatigue supportable par des personnes en bonne condition physique, même dans le cas d'une exposition de plusieurs heures ;

- 140 dB(Lin) $< L_p \leq 155$ dB(Lin) :

niveau pour lequel l'apparition de troubles psychologiques est appréciable et la fatigue supportable par des personnes en bonne condition physique, dans le cas d'une exposition courte (2 minutes) ;

- $L_p > 180$ ou 190 dB(Lin) :

niveau léthal (déchirure des alvéoles pulmonaires).

Les chercheurs du « Centralny Instytut Ochrony Pracy » (CIOP, Pologne), dans une publication récente [25], font un point relativement complet sur les différentes recommandations internationales et sur la bibliographie disponible. Cette publication conclut qu'il est souhaitable que les niveaux d'exposition aux infrasons ne dépassent pas 102 dB(G) en niveau moyen pondéré G intégré sur la gamme de 2 Hz à 50 Hz, pour 8 heures de travail.

Pour les bruits impulsionnels dans ces gammes de fréquences infrasonores, cette publication recommande une limite de 145 dB(Lin).

Discussion et conclusion

Les indications du paragraphe précédent ne sont pas immédiatement comparables entre elles à cause de l'usage de différentes pondérations, des bornes d'intégration en fréquence ou de la diversité de la prise en compte de la durée d'exposition.

Pourtant, quand les niveaux sont donnés en dB(Lin), l'INRS, l'ACGIH ou le NZOSHS donnent des recommandations relativement proches : il est indiqué que les expositions de plusieurs heures à des niveaux inférieurs aux seuils de 120 à 150 dB(Lin) ne conduiraient qu'à des troubles passagers.

Quand les niveaux sont donnés en dB(G), la norme ISO 7196 : 1995 ou le DEPA indiquent que des valeurs inférieures à 85 ou 90 dB(G) seraient toujours en deçà des seuils de sensation ou de gêne.

Sur toute la gamme de fréquence de 2 à 50 Hz, le CIOP recommande un niveau moyen maximal de 102 dB(G).

On a montré que la pondération G était bien adaptée aux seuils d'audition des sujets moyens dans la gamme de fréquence de 1 à 20 Hz et que ce seuil était de l'ordre de 102 dB(G) (il reste identique de 1 à 100 Hz).

La valeur maximale d'une exposition à des bruits infrasonores (de 1 Hz à 20 Hz) et basse fréquence (de 1 Hz à 100 Hz) continus pendant 8 heures peut donc être estimée à la limite du seuil d'audition

pour la plupart des sujets, c'est-à-dire 102 dB(G).

L'exposition à des bruit impulsionnels inférieurs à 145 dB(Lin) semble aussi être une limite prudente.

Pour les bruits continus, une diminution de la durée de l'exposition permettrait d'augmenter ces seuils de 3 dB par diminution de la durée par un facteur 2, comme les principes d'énergie équivalente le permettent pour le bruit audible.

Le Tableau I résume les valeurs limites proposées :

Valeurs limites proposées pour l'exposition aux infrasons aériens
Suggested limit values for exposure to airborne infrasound

| INFRASONS CONTINUS | |
|---|--|
| Calcul de l'exposition | • Utilisation de la pondération G • Sommation des énergies reçues entre les tiers d'octave compris entre 1 Hz et 100 Hz |
| Valeur limite d'exposition en dB(G) sur une durée de 8 heures | 102 dB(G) |
| Si la durée d'exposition est diminuée par un facteur 2 | Augmentation de la valeur limite de + 3 dB |

| INFRASONS IMPULSIONNELS | |
|----------------------------|--------------------|
| Calcul de l'exposition | Pas de pondération |
| Valeur limite d'exposition | 145 dB(Lin) |

METROLOGIE

La mesure des infrasons doit s'effectuer conformément à la norme ISO 7196:1995 qui définit la pondération G et donne des indications sur les prescriptions générales relatives à l'appareillage utilisé.

En particulier :

- La réponse fréquentielle du microphone utilisé doit être constante ou bien définie sur l'intervalle des fréquences allant de 0,25 Hz à 160 Hz ;

- Le reste de la chaîne de mesure doit avoir une réponse fréquentielle ayant au moins les mêmes spécifications que le microphone, le facteur précision étant par ailleurs réputé être crucial, une tolérance de ± 1 dB est demandée ;

- Le temps d'intégration devrait être de 10 secondes pour des bruits continus, jusqu'à une minute pour des bruits fluctuants.

Le mesurage doit s'effectuer en plusieurs points du local dans lequel les infrasons sont soupçonnés ou ressentis.

En particulier, à cause des ondes stationnaires pouvant exister dans un local de géométrie relativement régulière, il est nécessaire de considérer des points de mesure proches des cloisons, plancher ou plafond, là où des ventres de pression seraient susceptibles d'exister. D'autres points de mesure sont nécessaires dans le local, à 1 mètre ou 1,5 mètre du sol, puisqu'il n'est pas rare que des ondes stationnaires provoquent des variations de niveau, d'un point à l'autre d'un local, de plus de 30 dB.

Le niveau infrasonore est calculé par sommation des niveaux pondérés G dans les différents tiers d'octave. Cette sommation pondérée G est alors comparée aux valeurs limites recommandées dans le paragraphe précédent.

MESURES DE PROTECTION

Les mesures de protection contre les infrasons sont peu efficaces puisque ces ondes sont très peu atténuées durant leur trajet dans l'air ou les matériaux isolants acoustiques classiques [30].

Les propriétés acoustiques des matériaux isolants ou absorbants ne sont généralement pas définies en deçà de l'octave 125 Hz. Pour la plupart d'entre eux, ils sont très probablement beaucoup moins efficaces pour la gamme des fréquences inférieures à cette octave.

Les équipements de protection individuelle ne sont pas qualifiés en deçà de l'octave 63 Hz et des essais sur des bouchons d'oreille [31] ont prouvé leur inefficacité pour des fréquences en deçà de 50 Hz. De toute façon, les autres sensations corporelles transmises par les vibrations du corps ne peuvent pas être atténuées par ces protecteurs.

Par la diminution du niveau à la source (changement des composants, augmentation des vitesses de rotation des machines tournantes, etc.), on offrira probablement une protection plus efficace que par l'isolation des personnes exposées.